

大阪工業大学

正員 岡村宏一

大阪設計コンサルタンツKK

○正員 波多野昭吾

同上

正員 吉田公憲

1. まえがき：先に、板とBeam系の合成構造の立体解析法について、その理論と若干の構造への応用例を示したが、¹⁾今回、この立体解析法と、連続合成桁橋の諸問題、すなわち、完全合成、部分合成、支桌降下によるプレストレス導入、ケーブル及び鋼棒による部分プレストレス導入、等の解析に適用し、構造各部の応力を同時にかつ忠実に求めた。板の部分合成のような問題は、Open Formで取扱うと、混合境界値問題となり、解析が困難となるが、本解析では容易に取扱うことが出来る。

2. 解析方法

本解析は、板の解と桁の解とを床版下面で合成させ、連続合成桁橋の立体解析をおこなうものである。(図-1)に示すように、連続系の場合であっても床板は一枚の板として取扱っている。さらに、解桁を容易にするため、合成面に作用する不静定力分布を(図-4)に示すように分割し、選点法を併用して、Closed Formに変換する。なお、部分合成の場合(図-2)に示すように、非合成部分の不静定力は鉛直方向のみ考える。

床板の基礎式は前論文において誘導した。板の上下面に任意分布鉛直力ならびに任意分布水平せん断力を受ける場合の板の曲げおよびScheib actionを支配するものを用いる。これを1) 2) 式に示す。

$$\Delta \Delta w = \frac{1}{D} \left(q_0 - q_u + \Phi(x) - \frac{\partial}{\partial x} (S_{ux}) \right) \quad \text{--- 1)}$$

$$h \Delta \Delta \phi = \gamma \left(\frac{\partial S_{ux}}{\partial x} \right) - \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left(\int S_{ux} \cdot dx \right) + \bar{\Phi}(x) \quad \text{--- 2)}$$

床板の境界条件は、両端($x=0, x=a$)は単純支持辺、張出部端辺($y=0, y=b$)は自由辺とする。又本文では横桁は非接触とした。なお、上式中 $\Phi(x), \bar{\Phi}(x)$ は、ケーブルによるプレストレス導入時関数であって、(図-3)を参照して3) 4) 式で与えられる。(文献2参照)

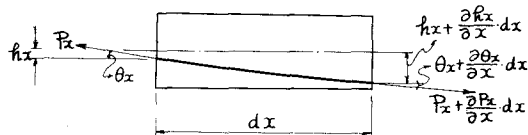


図-3

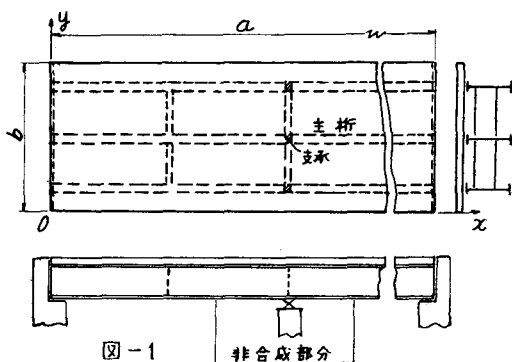


図-1

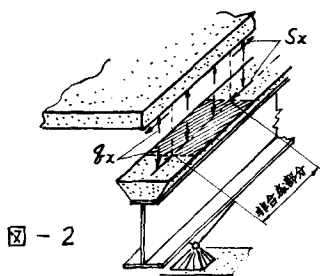
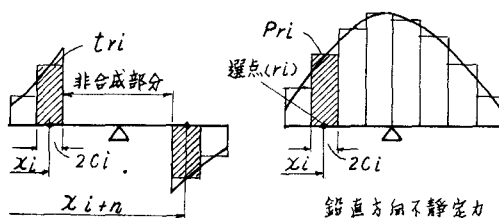


図-2



水平方向不静定力

図-4

$$\Phi(x) = P_x \cdot \frac{\partial^2 h_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial P_x}{\partial x} \cdot \frac{\partial h_x}{\partial x} + \frac{\partial^2 P_x}{\partial x^2} \cdot h_x \quad \text{--- 3)}$$

$$\bar{\Phi}(x) = \frac{\partial^2 P_x}{\partial y^2} - \gamma \cdot \frac{\partial^2 P_x}{\partial x^2} \quad \text{--- 4)}$$

さらに、ケーブルとシース間のまっすぐ抵抗がないもの
と考へ、(図-5)のように、ケーブル形を定めると、 $\Phi(x), \bar{\Phi}(x)$
は、 $\Phi(x) = a_1 \cdot P$, $\bar{\Phi}(x) = 0$ --- 5)

となる。すなわち、ケーブルとある程度密に配置すれば、
プレストレス力によつて板にあたえる力は次の3種類の
分布荷重で与えられる。(図-6)

$$g_{s1} = (h + 2f_1) P / \alpha^2 a^2 \quad \text{--- 6)}$$

$$g_{s2} = (h + 2f_1) P / 2C_s \alpha a^2 \quad \text{--- 7)} \quad t_{s1} = P / 2C_s a \quad \text{--- 8)}$$

ただし、 P ; 単位巾当りの有効プレストレス力、 $2C_s a$; 締結部分散巾

任意荷重(q)、プレストレス力(g_{sk}, t_{sk})及び、各不静定力(P_{li}, t_{li})による床板各選尺のためみ(w)、下面
x方向変位(u)、は次のように与える。

$$w(x, y) = \frac{1}{\pi^2 D} \sum_m \sum_n \left[U_{mn}(y) \times \bar{\Phi}_{mn}(g \cdot g_{sk} t_{sk} P_{li} t_{li}) \right] \sin \alpha_m x \quad \text{--- 9)}$$

$$u(x, y) = \frac{1}{\pi^2 h E} \sum_m \sum_n \left[Z_{mn}(y) \times U_{mn}(t_{sk} t_{li}) - \frac{6}{h} (1 - \nu^2) d_m \left\{ U_{mn}(y) \times \bar{\Phi}_{mn}(g \cdot g_{sk} t_{sk} P_{li} t_{li}) \right\} - \frac{1}{\pi} \int_{mn} (t_{sk} t_{li}) \sin \beta_n y \right] \\ \times \cos \alpha_m x + C \quad \text{--- 10)}$$

これらの式の詳細は、(文献3)を参照されたい。主桁のためみ、変位、の表示は紙面の都合で省略
するが、不静定力(P_{li}, t_{li})および支反力(R_k)による主桁選尺(x_u)のためみ $\bar{w}$ 、上縁水平変位 $\bar{u}$ 、は格
子解の解析により代数関数で容易に求められる。

板と主桁の合成条件式

平面保持の仮定のもとで板と主桁の接合部における合成条件は、たわみ、および水平変位の連続で
ある。さらに部分合成の場合、非合成部分ではたわみのみ連続し、水平変位は不連続となる。これら
の条件を細分された各選尺で成立さす。すなわち合成条件を一般表示すると次のようになる。

$$\text{たわみの連続条件} \quad ; \quad w(x_u) = \bar{w}(x_u) \quad \text{--- 11)}$$

$$\text{水平変位の連続条件} \quad ; \quad u(x_u) = \bar{u}(x_u) \quad \text{--- 12)}$$

(ただし12)式は、合成部分の選尺上のみ考える。)

中間支束の条件式

載荷重及びケーブルによるプレストレス導入の場合、基礎の不等沈下が生じないものとする。支
束の鉛直方向変位は0となる。又、支束降下によるプレストレス導入時は、支束の鉛直方向変位を降
下量で表わせはよい。すなわち支束条件は次のように示される。

$$\text{載荷重及び、ケーブルによるプレストレス導入の場合} ; \quad w(l_k, y_n) = \bar{w}(l_k, y_n) = 0 \quad \text{--- 13)}$$

$$\text{支束降下によるプレストレス導入の場合} ; \quad w(l_k, y_n) = \bar{w}(l_k, y_n) = \Delta k \quad \text{--- 14)}$$

ただし、 $w(l_k, y_n), \bar{w}(l_k, y_n)$; 各支束上の床板及び主桁のためみ、 Δk ; 各支束降下量

11)~14)式を用いて、合成部に生ずる不静定力及び連続桁支束反力のすべてを算出することが出来る。

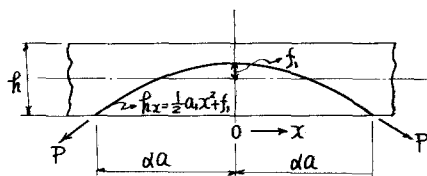


図-5

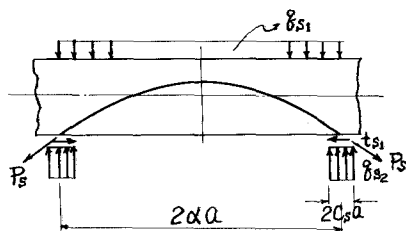


図-6

3. 計算例

本計算に用いた連続合成桁橋の構造諸元は(図-7)に示す通りであり、2全間連続合成桁橋である。床板と主桁の剛比； $Db/E_s I = 0.1655$ 主桁と横桁との剛比； $E_s I_Q/E_s I = 0.38$ 、ポアソン比 $\nu=0.2$ である。完全合成、部分合成、支桌降下、ケーブルによるプレストレス導入の場合について、構造各部の応力を詳細に計算したが、紙面の都合で、Dataの若干を記載する。

部分荷重載荷例

径間中央部($x=0.25a, y=0.5b$)

及び($x=0.75a, y=0.5b$)に載荷面積 $A(0.02a \times 0.08b)$ を有する部分荷重(%)が作用した場合について、完全合成及び支桌近傍(0.2a)区間を非合成とした部分合成桁の床板

応力を右図のように、曲げ応力と軸応力で示したものが、

(図-8)(図-9)である。この図によると床板の複雑な応力性状がよく表われている。

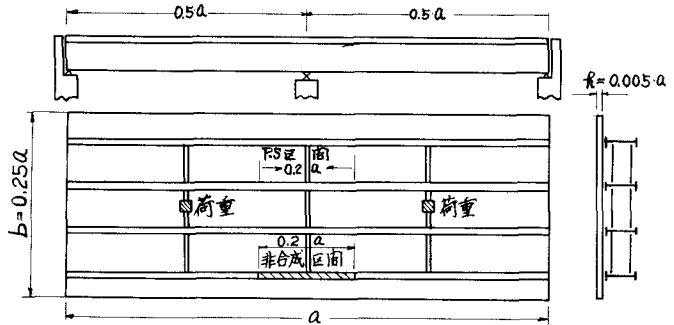


図-7

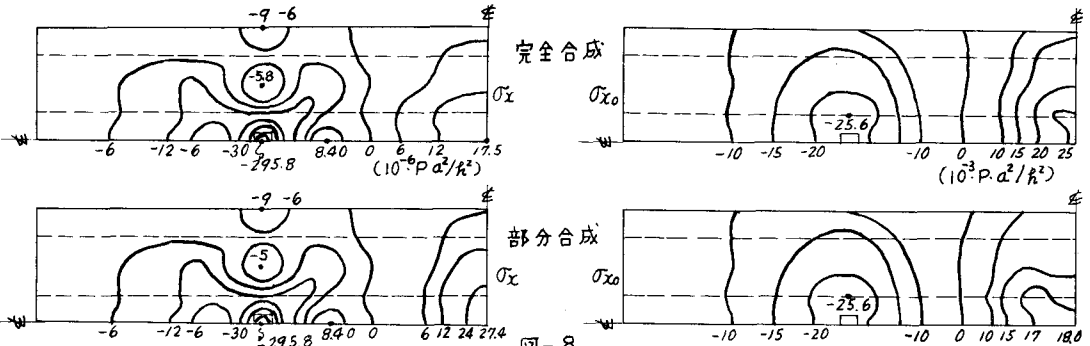


図-8

このように床板の複雑な応力状態が詳細に求められる。(図-10)は床板と桁の接合面における水平せん断力の分布

外 桁

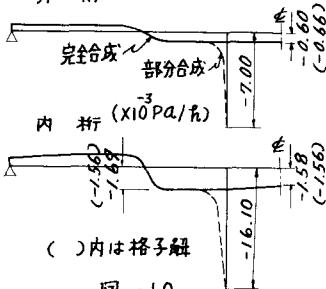


図-10

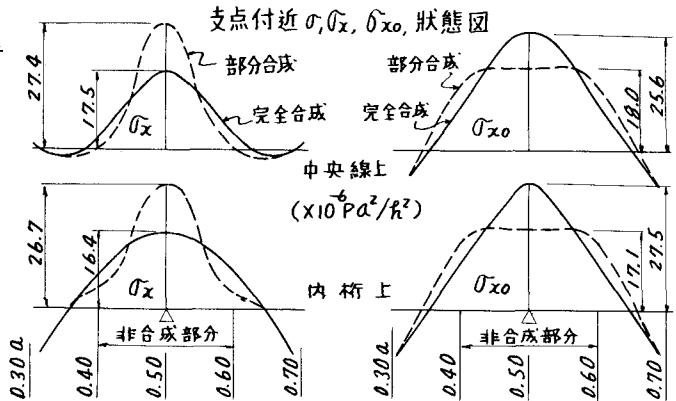
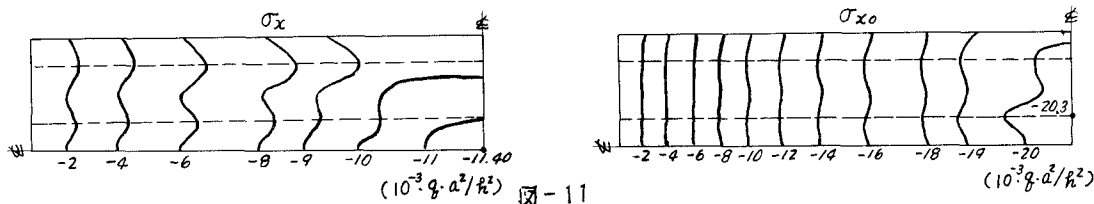


図-9

を示したものである。部分合成の場合は境界点でせん断力が急増するが、これは本解析が弾性解析であるので当然の帰結である。尚、各種荷重状態における解析例は文献3)に記載しているから参照されたい。

支桌降下によるプレストレス例

支桌降下量 $\Delta = 1.85 \times 10^3 q \cdot a^2 / D$ (q : 自重) とした場合の床板 方向の応力状態を(図-11)に示す。



ケーブルによる部分プレストレス例

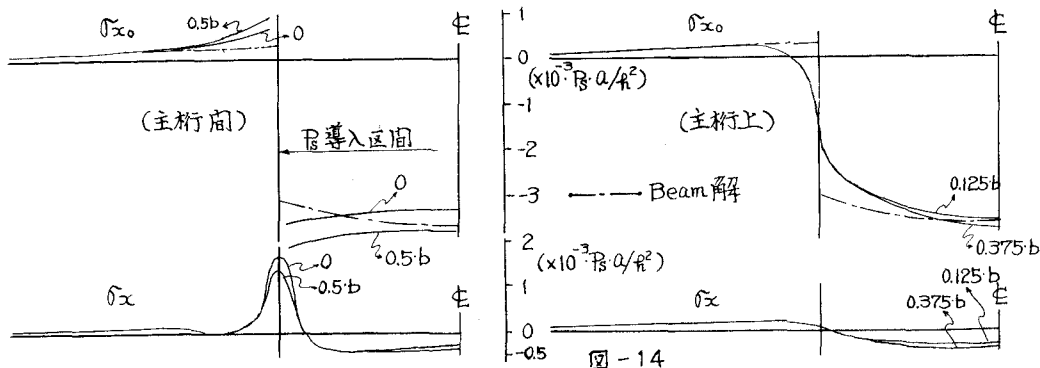
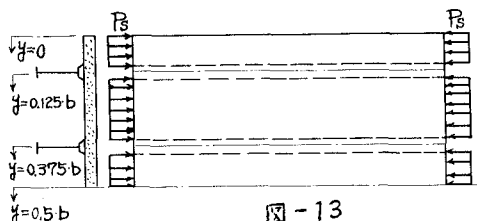
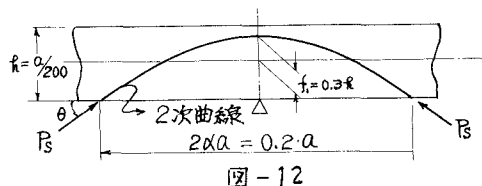
(図-11)に示すように、支桌部(0.2a)区間の床板にプレストレス(P_3 t/m)を導入した場合、床板に作用する荷重は次の様になる。

$$q_{s1} = 0.8 \cdot P_3 / a \quad q_{s2} = \frac{P_3}{100} \times \frac{P_3}{2C_s a}$$

$$t_{s1} = P_3 / 2C_s a, \text{ 今 } 2C_s = 1/200 \text{ とすると,}$$

$$q_{s2} = 16 P_3 / a, \quad t_{s1} = 200 P_3 / a \text{ となる。又,}$$

P_3 の作用範囲は(図-12)の様に考え主桁上は0で、主桁間は幅員全体に一定とする。この場合、主桁上($y=0.125b, y=0.375b$)及び主桁間($y=0, y=0.5b$)断面における応力状態を(図-13)に示す。



図に見るように、ケーブル締結部近傍の応力はBeam解とかなり異った性状を示し、かなり大きな引張力が発生している。

むすび： 本文に示した解析は基本的に板とBeam系の合成理論、又はそれとPC板理論との複雑な組合せであるが、解析の各過程において充分収束したdataが得られることが確認された。このような立体解析と現行の設計法を対比させると荷重体系が異なるが、荷重の如何に拘らず各部分の断面力がより合理的に詳細に評価される。

- 1) 岡村：板とBeam系の合成構造の立体解析法、ならびに格子桁の合成による橋梁解析への応用(土木学会 S.43.10)
- 2) 倉田、岡村、谷平：連続プレストレス板の解析 (土木学会 S. 43.10)
- 3) 岡村、吉田：連続合成桁橋の立体解析 (土木学会関西支部 S. 44.5)